

Таблиця – Залежність вихідних параметрів гідрозахисту ЗЕДа від КП діафрагми при тиску на вході $p_1 = 20,0$ МПа

КП діафрагми H_∂	Швидкодія, хв.	Перепад тиску між входом і виходом $\Delta p = p_1 - p_2$, МПа
2,43	1,74	0,015
2,38	1,74	0,228
2,48	1,74	0,253
2,5	1,74	0,346
2,51	1,74	0,392
2,34	1,74	0,426
2,52	1,74	0,439
1,98	1,74	2,396
3,51	1,74	4,155
1,39	1,74	6,513
1,16	1,74	8,50
1,01	1,74	9,933

Як видно з табл., швидкодія (тривалість проходження сигналу від входу до виходу) гідрозахисту ЗЕДа залишається величиною постійної, незалежно від КП діафрагми, а перепад тиску між входом і виходом Δp змінюється в широкому діапазоні значень (0,015...9,933) МПа. Для ефективної роботи гідрозахисту ЗЕДа необхідно, щоб $\Delta p \leq 0,4$ МПа, тому найбільш придатним є КП діафрагми який змінюється в межах 2,38 - 2,5.

Висновки. Шляхом декомпозиції гідравлічного захисту ЗЕДа на окремі структурні елементи: трубки, капіляри, кільцеві щілини, дросельні шайби, клапани, діафрагми розроблено його математичну модель. Використавши діаграму проходження сигналів і КП, отримали його лінійну математичну модель. За допомогою лінійної математичної моделі проведені аналітичні дослідження впливу жорсткості діафрагми на ефективність роботи гідрозахисту ЗЕДа. У результаті досліджень встановлено, що для ефективної роботи гідрозахисту ЗЕДа КП діафрагми повинен становити 2,38 - 2,5, а його вплив на швидкодію відсутній.

Список літератури: 1. Нефтепромысловое оборудование: Справочник /Под ред. Е.И. Бухаленко.— 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Недра, 1990. 2. Попов Д.Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем. – М.: Машиностроение, 1987. - 464 с. 3. Башта Т.М. Гидравлические приводы летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1967. – 495 с. 4. Данилов Ю.А., Кирилловский Ю.Л., Колпаков Ю.Г. Аппаратура объемных гидроприводов: Рабочие процессы и характеристики. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с. 5.Траксел Джон Синтез систем автоматического регулирования: Пер. с англ. – М.: МАШГИЗ, 1959. – 614 с.: ил., табл.

УДК 622.24.05-519

І. З. ЛЮТАК, канд. техн. наук, А. А. МАНДРА, канд. техн. наук

СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАГАСАННЯ ХВИЛЬ ЛЕМБА В ІЗОТРОПНОМУ ПРУЖНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Рассмотрены методы определения величины затухания ультразвуковых колебаний волн Лэмба в упругих средах. Представлены результаты в виде графиков для двух нулевых мод – симметрической и антисимметрической от пройденного расстояния.

Неруйнівний контроль є важливою ланкою розвитку машинобудівної, транспортної та інших галузей народного господарства. Переважна більшість контролю об'єктів здійснюється акустичними методами. Тому важливим є отримання якнайповнішої інформації про параметри поширення акустичних хвиль, зокрема хвиль Лемба, що набули інтенсивного розвитку на даний час. Важливість використання хвиль Лемба полягає у їх властивості поширюватись на значно більші відстані у пружному середовищі ніж об'ємні хвилі. Ця властивість дозволяє ефективно застосовувати такі хвилі у протяжних металевих конструкціях.

Існуючі методи обчислення рівня загасання амплітуди хвиль Лемба базуються на наперед заданих пружних константах матеріалу, зокрема модулях пружності першого та другого порядку. Така залежність рівня загасання амплітуди від величин пружних констант є важливим фізичним явищем, яке можна використовувати для характеристики та градації досліджуваного матеріалу. Так дослідження загасання амплітуди хвилі за параметрами луно-сигналів представлено в праці [1]. Науковці досліджували параметри матеріалу на певній частотній смузі. Результатами роботи є порівняння загасання амплітуди луно-сигналу для сталі із різними фазами. Недоліками дослідження є неможливість застосування результатів для оцінки матеріалу металевих конструкцій, що експлуатуються. Дослідження загасання ультразвукових хвиль в протяжних металевих конструкціях, що експлуатуються представлено в [2]. В роботі досліджувались інкотелеві трубопроводи, що експлуатуються при високих температурах. Результатом дослідження є залежності зміни пластичності та пружності матеріалу від часу експлуатації та різних температур. Недоліком роботи є її вузька спрямованість на дослідження інкотелевого матеріалу при високих температурах. Результати дослідження складно застосувати для металевих конструкцій, що експлуатуються при нормальних температурах навколишнього середовища.

Метод визначення параметрів металу за величиною загасання поверхневих хвиль представлено в [3]. В роботі запропоновано збуджувати поверхневі хвилі механічним методом. Параметри матеріалу вважаються функцією величини дисперсії цих хвиль, яка визначалася спектральним методом. Результати досліджень були використані для аналізу металу бетонних конструкцій злітних смуг аеропортів. Продовженням цього дослідження є праця [4]. В праці вказано на значний вплив на параметри поверхневих хвиль арматури бетонних конструкцій, що не дозволяє з достатньою точністю визначати характеристики та градації досліджуваного матеріалу і як результат – на неповність методу акустичного неруйнівного контролю. Другим недоліком методу є недостатність теоретичних та практичних результатів для його застосування при неруйнівному контролі виключно металевих конструкцій.

Аналізуючи вищесказане, приходимо до висновку про недостатність інформативність теоретичних моделей опису загасання амплітуди поширення ультразвукових коливань та про необхідність експериментального дослідження величини загасання амплітуди хвиль Лемба в пружному середовищі. Задачею даної роботи є розроблення способу визначення параметрів загасання хвиль Лемба в ізотропному пружному середовищі для забезпечення подальшої можливості дослідження характеристики та градації матеріалу об'єкту контролю.

В загальному, загасання амплітуди залежить від двох основних факторів:

- величини шляху та геометричних параметрів середовища поширення, розсіювання хвильової енергії на границях розділу середовищ;
- адсорбування та розсіювання коливної енергії матеріалом середовища поширення хвилі.

Загасання амплітуди внаслідок взаємодії із границями розділу середовищ хвиль Лемба є складовою теорії їх генерування. Із збільшенням густини граничних шарів до середовища

поширення хвиль Лемба, інтенсивність виходу хвильової енергії в ці шари збільшується. Математичний опис умов взаємодії хвиль Лемба із іншими середовищами можна визначити аналогічно [5].

До інформативних параметрів середовища поширення хвиль Лемба відносять розмір амплітуди генерування коливань, геометричні розміри середовища, довжину хвилі, наявність/відсутність поверхонь відбиття [8]. Геометричні параметри середовища не впливають на втрати коливної енергії, а тільки на її просторовий перерозподіл. Фізичне пояснення цього явища полягає в тому, що незважаючи на постійну величину коливної енергії у фронті хвилі, геометричні розміри фронту збільшуються із поширенням хвилі. В результаті перерозподілу коливної енергії по більшій площі відповідно зменшується амплітуда коливань в окремо взятій точці. Величину коливної енергії $E_{\text{хв}}$ можна визначити так [7]:

$$E_{\text{хв}} = u^2 \cdot w^2 \cdot r = P / (r \cdot c^2), \quad (1)$$

де u – коливання елементарного об'єму пружного середовища, w – кутова частота, r – густина, P – тиск хвилі, c – швидкість поширення хвилі.

Для аналізу другого чинника впливу на загасання амплітуди хвиль Лемба – адсорбування та розсіювання хвильової енергії матеріалом середовища прийемо, що граничними його шарами з двох сторін є повітря. У випадку повітря як граничного шару, коливальна енергія хвиль Лемба, що поширюються в сталі, практично повністю буде утримуватись пружним середовищем. Тому на загасання амплітуди цих хвиль вноситиме вплив матеріал пружного середовища – сталь. Хвилі Лемба поширюються в сталевій пластині товщиною h , довжина та ширина пластини є достатньо великими і не впливають на параметри їх поширення.

Розсіювання хвильової енергії та механізм її адсорбування матеріалом пружного середовища це процес, що задіює нерівномірності на мікро та макро рівнях на поверхнях розділу середовищ, враховує нерівномірності матеріалу, мікрровключень тощо, рис. 1 [6]. В цьому випадку зменшення величини коливної енергії відбувається через дисперсію хвильового фронту, що розширюється із поступовим поширенням хвилі. Нерівномірності та мікрровключення вносять помітний вплив тільки при спів розмірному їх геометричному розмірі із довжиною хвилі, при менших розмірах хвилі огинають нерівномірності без перерозподілу коливної енергії. Величина загасання амплітуди прямо пропорційна геометричному розміру неоднорідності в кубі, і починає вносити вплив при 1/10 довжини хвилі. Як результат наявності неоднорідностей, утворюється значна кількість відбиттів, що утворюють псевдо хвилю. Така псевдо хвиля створює завади несучій хвилі і може повністю її поглинути при наявності відповідної кількості неоднорідностей. Особливо значна вираженість завад спостерігається у анізотропних матеріалах.

Загасання амплітуди визначається у децибелах [7]:

$$A_{\text{т}} = a \cdot l \cdot f, \quad (2)$$

де a – коефіцієнт загасання, l – довжина шляху поширення хвилі, f – частота.

Для ідеалізованих пружних середовищ можна вважати, що коефіцієнт загасання ультразвукової хвилі певної частоти є константою.

Оскільки загасання амплітуди залежить від адсорбування та розсіювання коливної енергії, то коефіцієнт загасання можна розкласти на два доданки: a_A – загасання від адсорбування та a_P – загасання від розсіювання:

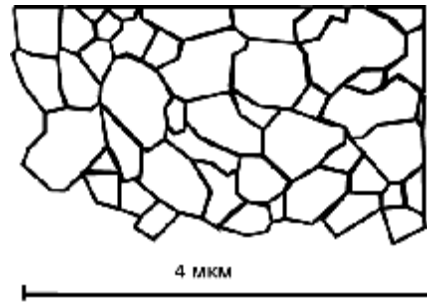
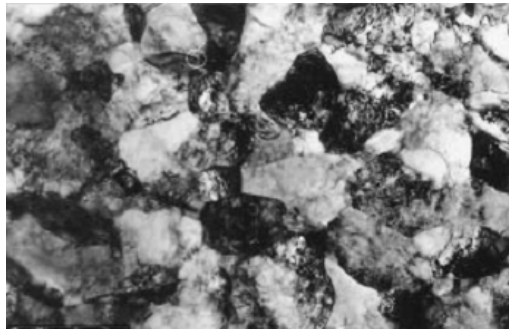
$$a = a_A + a_P. \quad (3)$$

Адсорбування це процес перетворення акустичної енергії в теплову внаслідок таких явищ як внутрішнє тертя, що викликане дислокацією та термопружністю. Розсіювання залежить від розміру границь зерен, присутності різних фаз. Визначити коефіцієнт a_P можна так:

$$a_p = Sd^3 f^4, \quad (4)$$

де S – константа, що визначається як величина втрати коливної енергії при переході через різні фази сталі за допомогою різниці акустичних імпедансів; d – величина зерен; f – частота.

Можна стверджувати, що при однаковій частоті ультразвукової хвилі для різних сталей величина загасання залежатиме від коефіцієнту a_p .



а) фото, отримане просвічуючим електронним мікроскопом маловуглецевої сталі (0.15% С)

б) границі зерен

Рис. 1. Мікроструктура сталі

Коефіцієнт загасання амплітуди хвилі буде пропорційним коливній енергії, тому:

$$a \equiv Du^2 \equiv DP. \quad (5)$$

Рівність (3) дозволяє визначати експериментально параметри хвильового поля, припускаючи середовище поширення ідеалізованим, а саме однаковість всіх фізико-механічних величин. Цей підхід використовується при проведенні математичного моделювання процесу загасання амплітуди хвилі.

Відношення амплітуд хвилі Лемба визначених в двох різних місцях представлено на рис. 2. Спосіб визначення загасання амплітуди представлений на рис. 3. Визначення загасання амплітуди між генеруючим та приймальним перетворювачем є недоцільним, оскільки рівень її загасання визначається розширенням пучка акустичних хвиль.

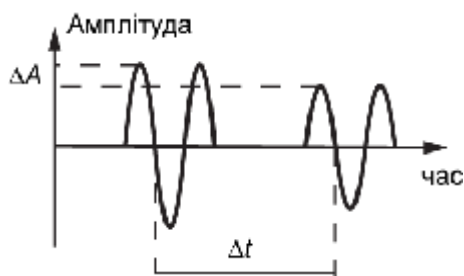


Рис. 2. Визначення загасання амплітуди сигналу

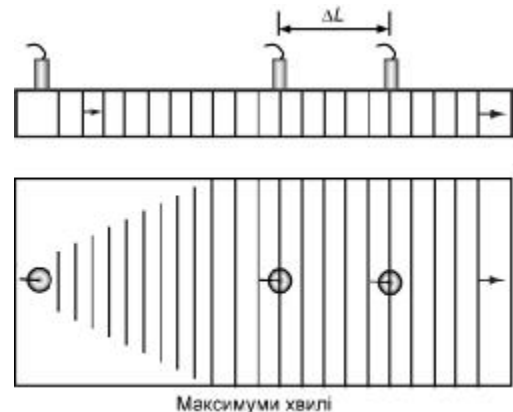


Рис. 3. Експериментальне дослідження загасання амплітуди хвиль Лемба

Результати проведених досліджень представлені на рис. 4. Крива будувалась для двох мод хвиль Лемба – нульових симетричної та антисиметричної. Числові значення обчислювались шляхом порівняння амплітуд від двох приймальних первинних перетворювачів.

Як можна побачити із рис. 4, антисиметрична мода має більший рівень загасання, оскільки коливання елементарного об'єму середовища, що створене її проходженням є більше подібним до поперечної об'ємної хвилі.

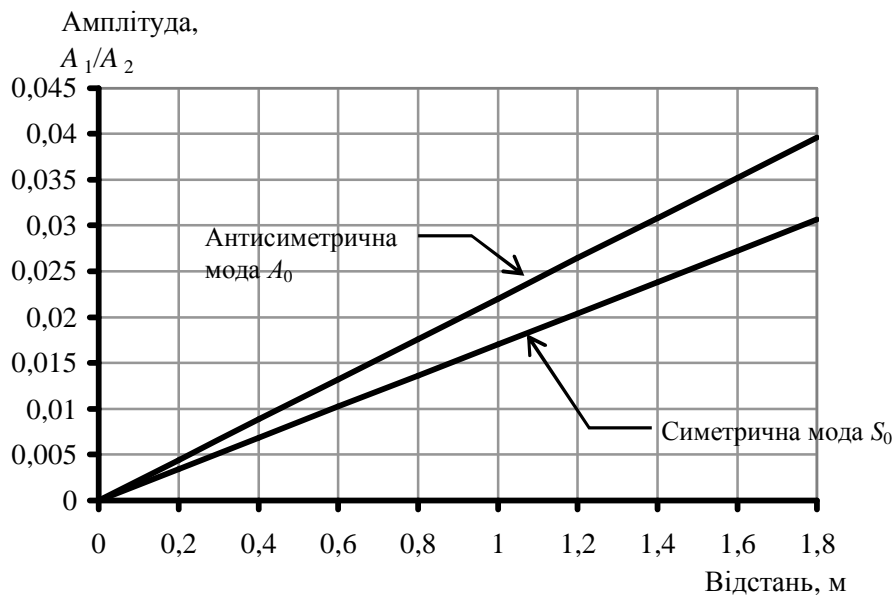


Рис. 4. Загасання мод хвилі Лемба в сталі X60

Проведені дослідження дають значну інформацію про можливий діапазон використання хвиль Лемба в натурних умовах проведення неруйнівного контролю. Результати допоможуть значно зменшити час при проектуванні пристроїв неруйнівного контролю, а також дають додаткову інформацію про ступінь неоднорідностей матеріалу.

Список літератури: 1. *Xinbao L., Susumu T., Yoshiaki O.* Effect of matrix structure on ultrasonic attenuation of ductile cast iron // *J Mater Sci* .- 2007.- v. 42.- p. 179–184. 2. *Kumar A., Shankar V., Jayakumar T., Rao K. B. S., Raj B.* Correlation of microstructure and mechanical properties with ultrasonic velocity in the Ni-based superalloy Inconel 625 // *Philosophical Magazine A: Physics of Condensed Matter: Structure, Defects and Mechanical Properties*.- 2002.- 82(13).- p. 2529-2545. 3. *Landis E., et al.* Developments in NDE of concrete // *Northwestern University*.- 1994.- p. 1-6. 4. *Rosh.* Integrity testing of other bridge substructure elements // *US Department of Transportation*.- 2003.- p. 1-11. 5. *Лютак І. З.* Контроль технічного стану магістральних трубопроводів кільцевими модами пластинчатих ультразвукових хвиль // *Збірник наукових праць. Серія: Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. Теорія і практика неруйнівного контролю матеріалів і конструкцій (Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України), випуск 13*.- 2008.- С. 193-198. 6. *Dong Hyuk Shin, Chang Woo Seo, Jongryoul Kim, Kyung-Tae Park and Wung Young Choo* Microstructures and mechanical properties of equal-channel angular pressed low carbon steel // *Scripta Materialia*.- 2000.- Vol. 42.- No 7.- p. 695-699. 7. *Stewart C. Bushong and Benjamin.* Diagnostic Ultrasound: Essentials of Medical Imaging Series. McGraw-Hill/Appleton & Lange.- 1991.- 150 p. 8. *Esward T. J, et al.* An Investigation Into the Establishment and Assessment of a Test Facility for the Calibration of the Acoustic Emission Sensor, NPL Report CMAM.- 2002.- 82.- pp. 5-59.

Поступила в редколегію 17.03.08